



# 技術のフロントローディングについて

令和 7 年（2025 年）1 月 26 日

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所

# 宇宙科学の技術のフロントローディング概要



## <目的>

宇宙科学・探査に係るプロジェクト移行前にミッションの実現に必要となるキー技術の事前実証を行いミッション立ち上げ強化を図ること、また、将来を見据えたミッション創出を念頭に我が国が世界に先駆けて獲得すべき共通技術領域の研究開発を重点的かつ継続的に推進。フロントローディング（FL）実施により開発スケジュール遅延の回避、コスト増抑制の効果や技術開発能力・課題解決能力の強化等が期待される活動。

## <対象となる技術>

- I. プロジェクト化後の円滑な開発の観点から事前実証が必要とされる個々のプロジェクト候補のキー技術
- II. 我が国として実績を有し、優位性“強み”が見込まれる技術
- III. 波及効果が大きく我が国として獲得すべき技術
- IV. 多くのプロジェクト候補のミッションに共通する技術

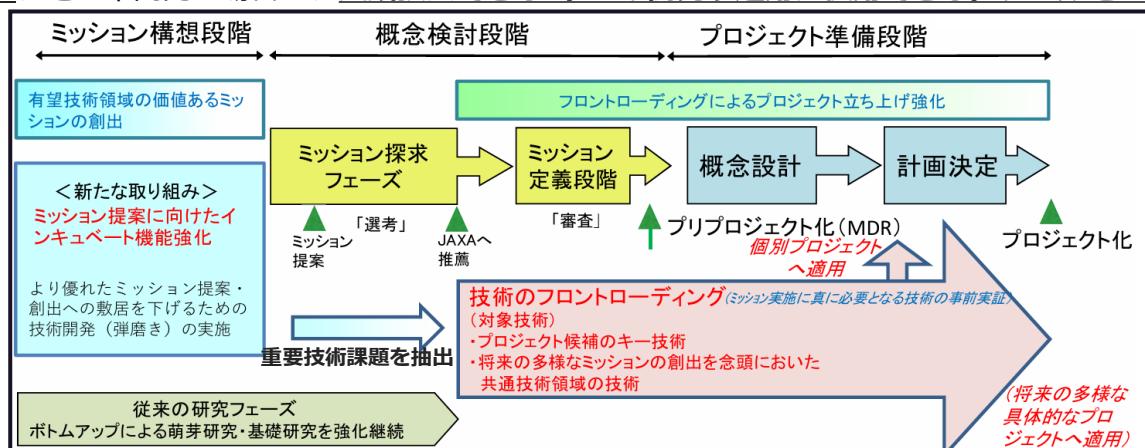
## <宇宙科学の技術FLの活動方針>

宇宙科学の技術FLは2020年度から新たに開始された枠組み。

➢ 条件①②に適合しており、EM相当への技術成熟にそれなりの規模の費用が必要な技術課題、もしくは、宇宙科学・探査ロードマップ、宇宙科学技術ロードマップに適合しており、加速的に開発を進める必要があると認められた課題を重点的に実施。特に、直近のミッション立ち上げに、貢献度が高い技術は優先的に実施。

条件①：戦略的開発経費等の活動において、BBMレベルの試作・検討が進んでいる、もしくは、過去のヘリテージなどがあり、現時点での技術成熟レベルがTRL3～4に達しており、本計画におけるゴールまでの開発計画・規模が見通せていること。

条件②：ミッション固有の技術ではなく、新しい宇宙科学ミッションの創出に共通的に貢献する技術であり、その活動のゴールは、搭載系開発については、数年後にEM相当（技術的には、次のステップでFMに移行できるレベル：高級BBM(High fidelity BBM)）の開発完了（TRL5相当以上）、地上系開発の場合は、実践投入できる（FMの開発や運用に使用できる）レベルをゴールとすること。



# 宇宙科学の技術のフロントローディング概要



## 宇宙科学・探査ロードマップに基づく技術FLの方向性

# 多波長の観測ネットワーク による天文・物理観測



# 観察・理解する 宇宙物理等の技術、スペース・マルチメッセンジャー構想の実現

## ＜技術の柱＞

- ① 宇宙用冷凍技術
  - ② 觀測、軽量構造、制御技術  
(センサ技術、望遠鏡技術、精密協調制御技術)

## 遠隔、及び、その場観測による 太陽圏システム探査



# 航行・着陸・探索する 太陽系科学・宇宙工学等の技術、“深宇宙探査” 構想の実現

## ＜技術の柱＞

- ③ サンプルリターン技術
  - ④ 超小型探査機技術
  - ⑤ 大気突入・空力減速・着陸技術
  - ⑥ 輸送技術

## 小天体探査戦略にもとづく 太陽系天体のその場観測



**我が国の強みを生かした世界第一級の日本主導のミッションの実現と、  
大型国際共同ミッションへの参加を効果的・効率的に実現**

## 宇宙科学の技術のフロントローディングのテーマ（終了案件含む）

| 技術の6本柱          | 主なテーマ   | 想定される将来ミッション  |
|-----------------|---|---|
| ①宇宙用冷凍技術        | ST冷凍機の長寿命・低擾乱化、2KJT冷凍機システムの総合実証等                              | マイクロ波背景放射偏光観測宇宙望遠鏡（LiteBIRD）、Astrophysics SMEX他   |
| ②観測、軽量構造・制御技術   | 国産の赤外線センサ、能動制御宇宙望遠鏡、コロナグラフ、紫外線観測技術、精密協調制御の試験検証技術、PINフォトダイオード等 | 赤外線位置天文観測衛星（JASMINE）、地球観測技術、高感度太陽紫外線分光観測衛星（SOLAR-C）、次世代宇宙望遠鏡計画（HWO）、超精密フォーメーションフライト実証機（SILVIA）、GRACE-C等 |
| ③サンプルリターン技術     | 再突入カプセルのヒートシールド開発、高度なSR計画を実現する機構技術等                           | 彗星探査サンプルリターン計画（CAESAR）、次世代小天体サンプルリターンミッション等   |
| ④超小型探査機技術       | 小型軽量MEMS-IRU、軽量薄膜太陽電池パドル、可逆展開ラジエータ技術、小型月探査ローバ、ソフトウェア無線機技術等    | 深宇宙探査技術実証機（DESTINY+）、外惑星探査小型実験機（OPENS-0）、次世代小天体サンプルリターンミッション、月探査ローバ等                                    |
| ⑤大気突入・空力減速・着陸技術 | 超小型火星着陸機システムの開発（惑星保護含む）等                                      | 火星本星着陸探査等   |
| ⑥輸送技術           | 複数目的天体へ到達可能な深宇宙ランデブ・ドッキング技術等                                  | 次世代サンプルリターンミッション等   |



**宇宙実証の機会を確保して、より高いTRLでのアウトプットを目指すことを視野に入れる。**

宇宙研が得意とする**小規模・高頻度な宇宙実証機会等を有効的に活用**し、技術FLで獲得する技術をより高いTRLの状態でのアウトプットとすることで、出口と想定するミッションへスムーズな接続や獲得した**技術の適用範囲の拡大**を実現する。

# フロントローディング活動の主な成果

## 2. フロントローディング成果概要



2020年度から開始した技術FLは、直近のミッションの立ち上げに推進力を与えつつ、将来にむけた魅力的なミッションを創出する活動を両輪とし、重要な技術をピックアップし、それに取り組んできた。それらの活動に対しての具体的な成果が創出されつつある。

|   | テーマ                         | 想定する適用先のミッション                                    |
|---|-----------------------------|--|
| ① | 小型軽量MEMS-IRU                | 長周期彗星探査計画 (Comet Interceptor) 等                  |
| ② | 赤外線センサ                      | JASMINE、ガンマ線バーストを用いた初期宇宙・極限時空探査計画 (Hiz-GUNDAM) 等 |
| ③ | 能動宇宙望遠鏡技術                   | SOLAR-C等   |
| ④ | 冷凍機技術 (ST & 2K-JT)          | LiteBIRD、NASAのAstrophysics SMEX等                 |
| ⑤ | 惑星保護技術                      | 火星本星着陸探査、氷天体・海洋天体探査等                             |
| ⑥ | サンプルリターンカプセル技術              | CAESAR、次世代小天体SR等                                 |
| ⑦ | コロナグラフ、紫外線カメラ               | HWO等   |
| ⑧ | 衛星間レーザ干渉計のための四分割フォトダイオードアレイ | GRACE-C (宇宙実証) 、LISA、NGGM等                       |

# 【直近ミッションの立ち上げを支えるキー技術】

## 成果①：小型軽量MEMS-IRU



- 中精度の**小型IRU (Inertial Reference Unit; 慣性基準装置)**は、探査機で必須な航法センサでありながら、米国製の光ファイバジャイロに依存し、入手性等に課題が生じる場合があった。
  - そのため、宇宙とは別用途でMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) ジャイロの技術を保有している企業に対し、ISAS研究者が持つ技術的知見を投入し、探査機用途に必要な長時間のバイアス安定性などの特性をもつMEMSジャイロの戦略的開発研究（工学委）を実施してきた。
  - 本FL活動では、これを用いた小型・軽量・低消費電力な国産IRUの開発を行い、米国製FOGとの比較で同等の性能を維持しつつ、民生技術などを活用し、**体積・質量は1/2、消費電力は1/3の小型IRUの開発に成功**した。
- 
- 衛星搭載機器等の知見を持つISASの工学研究者と戦略的開発研究の枠組みで研究開発を進めてきた、MEMS IRUの研究開発を基に技術FLで実用化を目指した。
  - EM相当品を開発し性能試験やQT試験を実施した結果をJAXAレポートの形で公開した。
  - これにより搭載を検討するユーザーが性能等に関して詳細に知ることができたため、JAXA内外での採用に繋がった。
  - 使用用途に合わせ下記の表のように5種類のIRU、IMUを開発した。
  - 2025年12月の時点で“Comet Interceptor”ほかJAXA内外のミッションで採用され、45台以上のベンダ販売実績(内出荷済みは28台)となっている。**
  - 2025年に初フライトに成功し、**現在5台が軌道上で稼働**している。

| シリーズ | MIRU-I   | MIMU-I   | MIRU-II   | MIMU-II  | MIRU-S   |
|------|--|--|---|--|--|
| 外観   |  |  |  |  |  |
| 寸法   | 54 × 54 × 60mm(TYP)  | 54 × 54 × 60mm(TYP)  | 60 × 60 × 61mm(TYP)   | 60 × 60 × 61mm(TYP)  | 52 × 46 × 44 mm (TYP)(IRU本体)   |
| 質量   | 243g(TYP)  | 243g(TYP)  | 330g(TYP)   | 330g(TYP)  | 141g(TYP)  |
| 防振   | 無  | 無  | 有   | 有  | 無  |
| 加速度計 | 無  | 有  | 無   | 有  | 無  |

# 【直近ミッションの立ち上げを支えるキー技術】

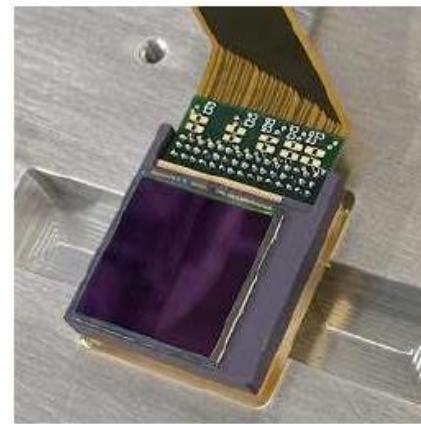
## 成果②：赤外線センサ

- ・ 赤外線位置天文観測衛星「JASMINE」のキー技術である赤外線センサの開発が進んでいる。
- ・ FY2023の成果として、大フォーマット（2k×2k素子）のセンサの試作と評価を完了した。
- ・ FY2024には宇宙用チップキャリアの開発・製造を行った。
- ・ 振動試験と耐放射線試験は設備の問題で2025夏にずれこんだが、良好な結果を得た。
- ・ これにより**宇宙機搭載用のEM相当のセンサが完成**した。
- ・ JASMINE向けでの適用後、公募型小型計画候補のガンマ線バーストを用いた初期宇宙探査計画「Hiz-GUNDAM」への適用を念頭に波長域の拡張も検討中で、さらには、また将来の赤外線干渉計計画といった野心的な計画でも用いていくことができる。

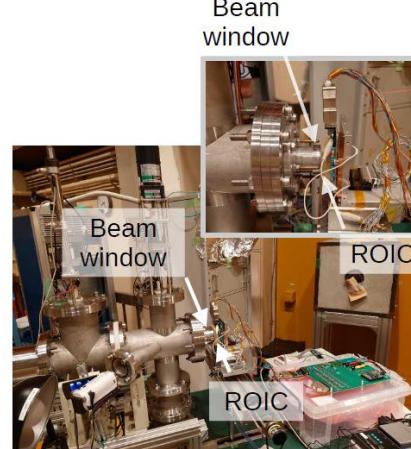
FY2022に試作し、FY2023に評価を完了した大フォーマット(2k×2k)のセンサの試作品



インハウスで検出器の冷却評価試験を実施（暗電流測定、パーシステンス測定、量子効率測定等）  
開発した宇宙用チップキャリアに搭載  
耐放射線試験を実施  
開発した宇宙用チップキャリア上の素子で振動試験を実施

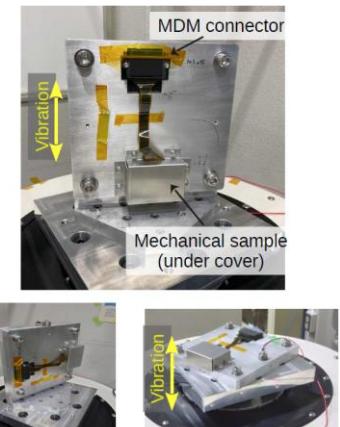


宇宙用チップキャリアへの搭載  
(上部は信号用取り出し用基板)



at RARiS, Tohoku University

耐放射線試験



The results were obtained using Space Chamber Laboratory of ISAS, JAXA.

振動試験

→想定通りの成果を得て、赤外線センサの開発の技術実証の目途を立てた。

振動試験・耐放射線試験をパスし、2025年に宇宙機搭載用のEM相当センサとして完成

# 【直近ミッションの立ち上げを支えるキー技術】

## 成果③：能動制御宇宙望遠鏡



- 能動制御宇宙望遠鏡は、将来の望遠鏡ミッションを進化させる鍵となる技術であり、多くのミッションにおいて、その技術の確立を熱望されている。
- この技術の一つとして**直動精密制御技術の確立・実用化**を目指し、焦点調節機構を選定。
- SOLAR-Cの主鏡部の焦点調節機構への適用を想定した場合におけるEM相当品での評価まで完了。
- フロントローディングでの成果を利用し、フライ特に向けた開発をSOLAR-Cで進めている。

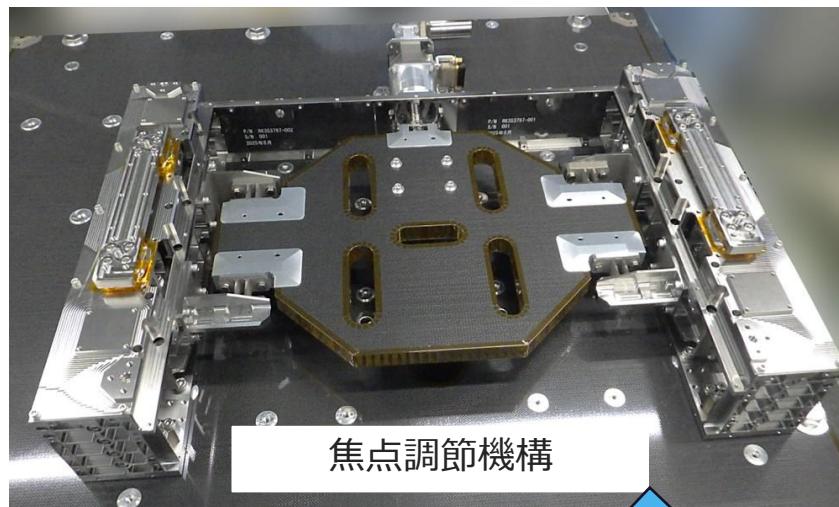
### ➤ 目標

ステップ分解能：0.01 mm 以下、  
ストローク： $\pm 3.5$  mm 以上、  
駆動寿命：1万回以上

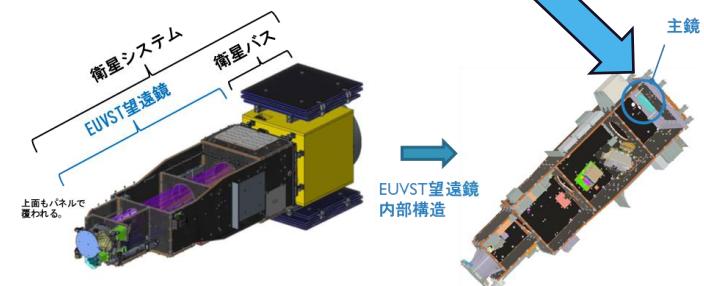
### ➤ EMの製作・試験を実施し、評価を完了



- SOLAR-CでFMと同等のモデルを製作し、EUVST 望遠鏡へ組み込んだ機械環境試験に向けて準備を進めている。
- SOLAR-Cの焦点調節機構は、主鏡（有効径 281mm）とともに像安定とスキャンのための傾動機構等を搭載して、焦点調節を行う。



【今後の計画（SOLAR-Cへの適用）】  
2026年6月：主鏡部組立試験  
2026年9月：EUVST望遠鏡  
MTM機械環境試験



SOLAR-Cのイメージ図

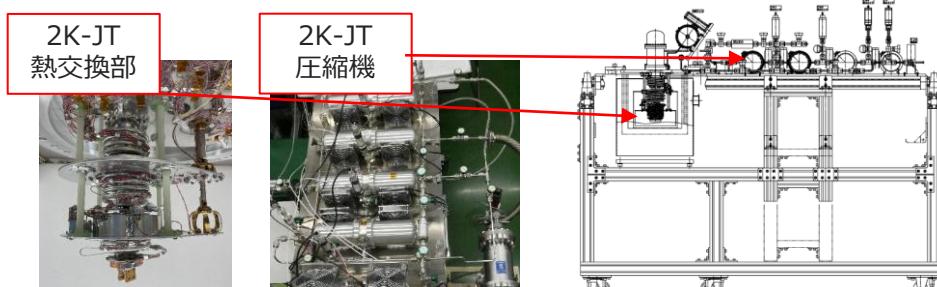
# 【直近ミッションの立ち上げを支えるキー技術】

## 成果④：宇宙機用冷凍機（2K-JT）



- ・極低温ミッションを実現する宇宙用冷凍機技術のうち、フライト実績のない国産の2K-JT冷凍機システムについて、LiteBIRDを想定ミッションとしてEM相当の開発を実施し、実ミッションへの適用準備を進める。
- ・技術FLで開発した高信頼化・長寿命化対応の2段スターリング冷凍機（2ST）を予冷機として活用。
- ・2K-JT冷凍機EM相当品の製作、単体試験を完了。
- ・2K-JT冷凍機用ドライバEM相当品の設計を完了。過去のドライバに比べて、小型・軽量化、低コスト化、信頼性向上を実現する見込みであり、将来の冷凍機に共通的に活用できる知見を獲得した。
- ・FY2027までに、2K-JT冷凍機・予冷機・ドライバを組み合わせた総合システムとしてのEM相当品の開発を完了する予定。
- ・本成果はLiteBIRDに加えて、NASAのAstrophysics SMEXミッションへの貢献も検討している。

2K-JT冷凍機EM製作  
単体試験を完了 → FY2027までに製作中の予冷機EM、ドライバEMとインテグレーションして総合試験を予定

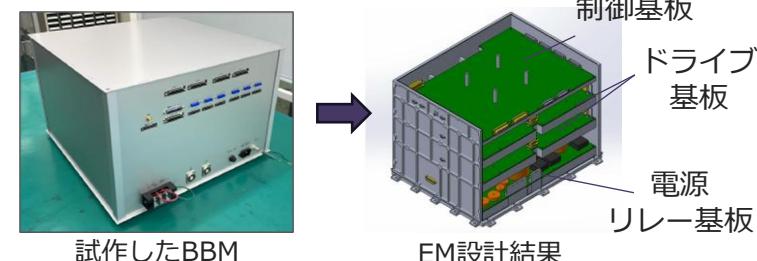


製作した2K-JT冷凍機EM  
単体試験にて所望の性能の達成を確認

今回開発する2K-JT冷凍機  
システムEM

| 項目   | 技術FLにおける2K-JT冷凍機仕様                         | 備考  |
|------|--|---|
| 冷却能力 | 1.7Kで 10mW以上 (EOL)                         | 旧戦略コンポと同等                                 |
| 要求寿命 | ガス精製後5年以上、保管2年以上 (圧縮機ピストン駆動機構としての動作時間は10年) | CTPの成果(改良板バネ、ピストン/シリンドラ間クリアランス管理)適用による    |
| EMC  | MIL-STD-461G                               | 放射雑音は低周波も含めてより厳しいEMCレベルを目指す方針とした          |
| 機械環境 | QT: 17.1Grms(面内), 11.0Grms(面外)             | 面外は振動試験ハンドブック(P95/50)に基づき、戦略コンポより厳しい条件を適用 |

BBM試作成果に基づき、2K-JT冷凍機のドライバEMの設計を完了し、製作フェーズに移行



回路構成の見直し、部品点数削減などの努力により、従来想定より、小型・軽量化、低コスト化、高信頼化を実現。このドライバ回路は、2K-JTに限らず、さまざまな冷凍機に使用できるため、この技術知見は、将来ミッションに波及効果が大きい

| 項目        | 過去機種ベース                     | 技術FLにおける2K-JTドライバ仕様             |
|-----------|-----------------------------|---------------------------------|
| 質量        | 12kg/台×2 = 24kg (ドライバ2台構成)  | < 17.8kg (ドライバ1台構成)             |
| サイズ (mm)  | 340×240×220mm ×2 (ドライバ2台構成) | 381×291×258mm (ドライバ1台構成)        |
| ドライバ機能高度化 | N/A                         | 擾乱制御機能<br>衝突検知・安全化機能<br>EMC性能向上 |

# 【将来ミッションを創出するキー技術】

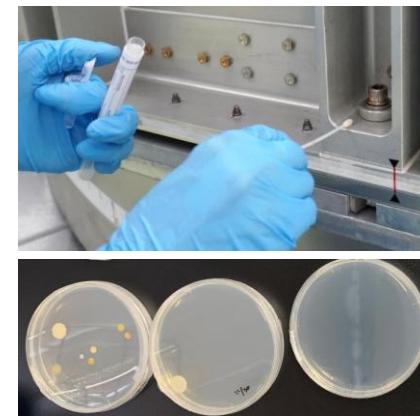
## 成果⑤：超小型火星着陸機システムの開発（惑星保護）



- 火星への着陸を実現するためには、国際的な惑星保護カテゴリIVへの対応（微生物汚染管理等）が必要
  - 現時点では、国内には、火星着陸機の開発に必要な惑星保護に対応できる設備・手法は確立されておらず、整備・獲得が必須。
  - 項目として、1. 超小型探査機用惑星保護施設の設計・導入。2. 惑星保護プロトコールの構築と要素技術の開発。3. 微生物カタログの作成・サンプル保存を掲げ、それぞれ進めている
  - いきなり大がかりな惑星保護設備を設置するのは困難なため、惑星保護の観点からも、小型な着陸機への対応から段階的に進める戦略が必要不可欠。
- 
- FY2023から課題の抽出を行い、技術整備と並行して微生物汚染管理が可能なクリーンルームの検討を進め、**FY2025の成果として、JAXA相模原キャンパスに「第1惑星保護クリーンルーム（PPCR1）」を設営した。**
  - 最初のミッションとして小型火星着陸を想定。海外ミッションへのコンポ提供等含め、他ミッションにも適用可能。



バイオバーテン管理機器組立室



- 惑星保護カテゴリIVに対応可能な**空気清浄度ISO 7HCを満たす**
- 直径3mの柔軟エアロシェルの伸展、格納の実施が可能
- フライト機器の乾熱殺菌が可能なオーブンを備える
- 空気清浄度、温湿度等を常時監視・記録するシステムを有する
- FFUの1故障によって空気清浄度が逸脱しないよう**冗長性**を備える
- 予期しない停電時に異常を検知・警報を発出できる

- FY2026はCR運用手順を規定
- 培養法に基づく微生物検査（量・種類）の準備およびデータ蓄積も進行中
- 培養に依存しない評価法や、非耐熱性部材の殺菌/除菌法の整備が課題

# 【将来ミッションを創出するキー技術】

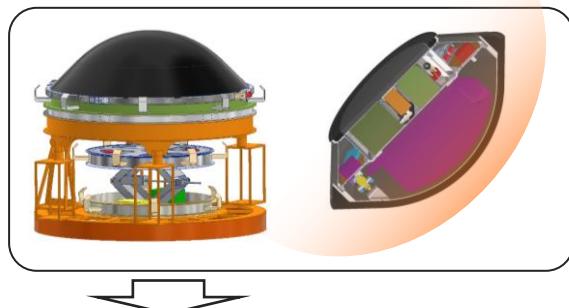
## 成果⑥：サンプルリターンカプセル技術



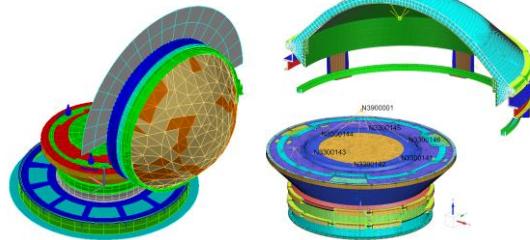
- 将来の先進的なサンプルリターン(SR)計画に欠かせないサンプルリターンカプセル (SRC) 技術の継承・発展的進化にむけて、鍵となる技術の先行獲得を目指す。
- 国際共同彗星SR計画(CAESAR)用SRCをリファレンスに、ヒートシールド技術、機構技術、パラシュート技術の先行獲得に取り組む。それぞれの要素技術に関連してEM相当の開発・評価を進めている。
- ここで獲得する要素技術は、国内の先進的SR計画（次世代小天体SR計画）用のサンプルリターンカプセル等の基盤となる。

CAESAR-SRCシステムをリファレンスにして、次世代のSRCに必要な先進的な要素技術を獲得

<最新のCAESAR-SRC概念設計（案）>



### ◆ システム設計技術の獲得



CAESAR-SRCをリファレンスにして、SRC特有の条件を含む熱・構造解析を実施。設計成立性を確認。  
CAESARプロジェクトのNF5提案（FY2026以降）にむけて準備を整えている。

### ◆ 大型・軽量・高耐熱・一体型ヒートシールド（H/S）の開発

- 2種類の新しい中密度アブレータ材料の開発・評価、その材料での大型ヒートシールドの試作を進めた。
- CAESAR-SRC級の直径1.2mのヒートシールドの試作にも挑戦して、製造技術の成熟を進めた。
- これらのヒートシールドは、CAESARのみならず、次世代小天体SRCなど、深宇宙探査用の地球帰還機のヒートシールドのベースラインとなる。



(左) カーボンフェノール系アブレータの直径1.2mのH/Sの試作品、(右) カーボンポリイミド系アブレータの直径0.4mのH/Sの試作品

### ◆ パラシュート放出機構の開発

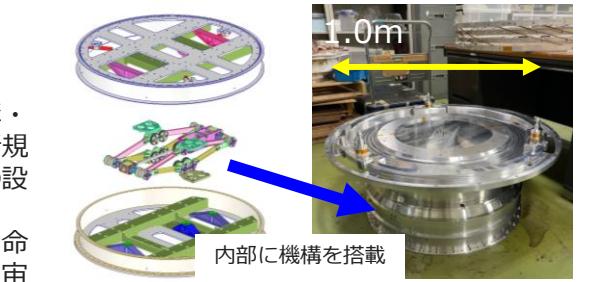
- 世界標準であるモルタル方式のパラシュート放出機構を新規に開発。BBMの開発を完了し、設計どおりの性能を確認し、実際のパラシュート放出試験にも成功した。
- 今後の国内の大気圏突入機のパラシュート放出機構のスタンダードとすべく、EM相当品の開発に進む。



開発したモルタル方式のパラシュート放出機構（左）とその放出試験の様子（下）

### ◆ 長期保管・高信頼性の機構技術

- CAESAR-SRCの搬送機構をリファレンスに、機構・構造設計を実施、フルスケールの試作品を製造、新規開発の潤滑材を適用し、機械環境試験を行い、その設計手法、及び、各要素技術の評価をおこなった。
- ジャッキタイプの搬送機構、機構設計技術、長寿命の潤滑技術は、SR計画のみならず、多くの深宇宙ミッションを支える技術として広範に活用できる。



CAESAR-SRC用の搬送機構の設計と実スケールの試作品

## 成果⑦：HWO関連技術：コロナグラフ技術・紫外線観測技術

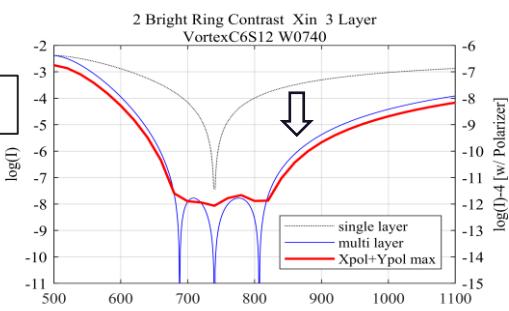


- HWOは、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡、ローマン宇宙望遠鏡に続く旗艦宇宙望遠鏡として、紫外線から近赤外線にわたる波長域で観測を行う口径6 m 級の宇宙望遠鏡を2040 年代に実現しようとする超大型計画である。
- HWOは科学目標の一つにコロナグラフによる地球型系外惑星の探索（生命兆候の探索を含む）を掲げており、また紫外線から近赤外線波長域で可能な宇宙物理学・天文学的な観測を行う。
- 日本からは「コロナグラフ装置」および「紫外線観測装置」への寄与が検討されている。**コロナグラフ技術においては世界初の超高コントラストへの到達を目指し、紫外線観測技術においては検出器や回折格子の大型化を目指す。  
**2029/3までにTRL3から5まで引き上げ、NASAが実施する搭載機器選定に臨む計画。**

### ◆ コロナグラフ：分割位相マスク(高コントラストを生成する要となる素子)の開発

- 本開発研究において、直接積層型3層構造により高コントラストが得られる波長帯域を大幅に拡大して(図中の黒線から赤線に進化)、HWOにおいて実用に足る、日本の強みを創生する。
- 試作と評価を繰り返し行い目標の性能を目指す。
- 今年度は1回目の試作中。そのほか、得られた素子を評価する実験系の開発、赤外コロナグラフ装置の光学設計も開始している。
- 将来に向けては、マスクの開発サイクルを回し、国内で可能な評価実験を経た上、JPLの大型試験施設で試験する予定である。

開発計画とマイルストーン

2025-2027  
試作・評価・改良  
@国内2028-2029  
評価@JPL

位相マスクの例（1辺は8ミリメートル。  
これは旧型で、今年度に開発中の試作品は未完成）

本開発にて黒線から赤線への発展  
を目指す(プロットは設計値)

### ◆ 紫外線観測技術の開発

- 面分光装置と高分散分光装置の検討を進める方針であり、MCP検出器の大型化に向けた試作を開始した。
- イメージスライサや回折格子の加工精度は既存技術で充分であることを確認しており、次年度に高効率コーティングと組み合わせた試作・評価を行う。
- 短波長側115nm程度までに対応する MgF<sub>2</sub>コーティングでは最高レベル(USと同等)の効率が得られており、さらに短波長側(100nm-)に対応するLiFコーティングの開発を進める。

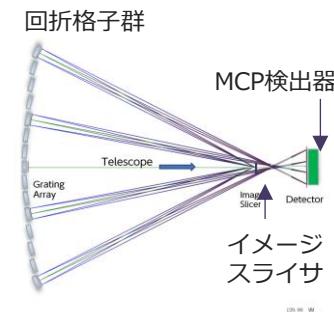
開発計画とマイルストーン

~2025まで  
大型化の実現性検討、  
イメージスライサ・回折格子設計完了  
コーティング試作・性能評価

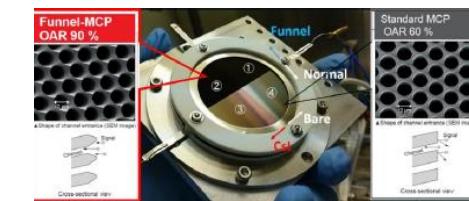
2025-2027  
大型MCP、新コーティング+回折格子、イ  
メージスライサ光学性能評価

2028-2029  
各要素の耐環境試験

2029/3  
HWO 機器選定



面分光装置設計案



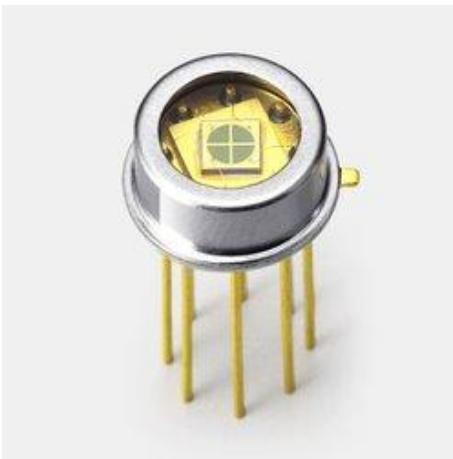
開発中の高効率MCP  
(写真は評価用の試作品(小型)。  
来年度の試作で大型化を目指す)

### 【波及効果】

- コロナグラフ技術：日本固有技術を獲得することで、必要な時に国内外の将来ミッションへの提供が可能となる
- 紫外線観測技術：HWOだけでなく、広視野観測や長期継続観測を小型計画 (LAPYUTA等) で実現することが可能となる

## 成果⑧：衛星間レーザ干渉計のためのInGaAsPIN四分割フォトダイオードアレイ

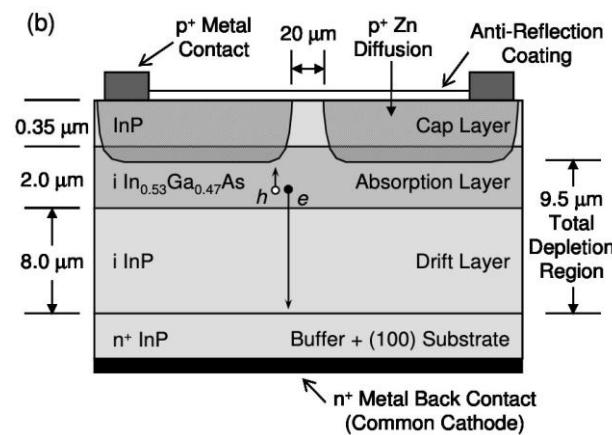
- 重力波観測をはじめとした、複数衛星編隊を利用したミッション構想では、衛星間の相対位置・姿勢を衛星間レーザー干渉計を用いて精密計測することが求められる。
- 本開発課題では、現在国際的に利用される衛星搭載用レーザー波長 $1\mu\text{m}$ 帯をターゲットに、InGaAs（インジウム・ガリウム・砒素）PIN接合型の四分割フォトダイオードアレイのTRL向上を狙う。
- PIN型の光検出器は一般に暗電流が小さく、応答速度が速いことから、衛星間レーザー干渉計の採用候補になることが多い。加えて、四分割素子を採用することで、測距情報に加えてレーザー光の位置情報も取得することが可能となる。
- 本課題では、喫緊の適用先候補となるGRACE-Cミッションを念頭に、当該製品の製造を実施する。



製造されたInGaAs PIN四分割フォト  
ダイオードアレイ（10点が表示）

InGaAs PIN四分割ダイオードアレイ  
の外観（写真：浜松ホトニクス社）

- これまでに浜松ホトニクス社にて60品のEM品・FM品となるInGaAsPIN四分割ダイオードアレイの製造を完了させた。
- GRACE-C計画への搭載に向け継続してドイツ宇宙局（DLR）とのスケジュール調整を実施している
- ESAが進める宇宙重力波アンテナ計画LISAから本製品の供給検討依頼の打診を受けるなど、波及効果が認められる



InGaAs PINフォトダイオードの宇宙対応化概念  
(Figure: A. M. Joshi et al., Proc. SPIE (2018))



今後、宇宙基本計画の実現のために、着実な科学ミッション立上げ・成果創出に向けて重要となる戦略的事項に対するフロントローディング活動の実施が必要。

## ① 月面・火星本星探査へ向けた開発

- ・月面・火星本星探査に向けた先導的なキー技術のフロントローディングが重要。

月に関しては、地球に最も近い天体であり、アルテミス計画と連携した探査が進展することで、地殻の物質や内部構造の調査による月の起源や、月面からの電波観測により得られる、宇宙の起源や進化過程に関する科学的知見を蓄積していく。また、地球近傍に位置することから地球からの輸送、通信の観点からも利点があり、火星等重力天体への着陸・帰還技術、惑星表面探査ロボット技術など、今後の太陽系探査に向けた技術獲得・実証を推進していく。（宇宙基本計画抜粋）

## ② NASA「Habitable Worlds Observatory計画（HWO）」参画へ向けた開発

- ・ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）の後継の宇宙望遠鏡計画として計画されているHWOへの国際協力への参画に向けて、早期の日本の強みを活かしたキー技術のフロントローディングが重要。**コロナグラフ・紫外線観測技術に先行着手している。**

2040年頃までには、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）の後継の宇宙望遠鏡計画が、我が国を含む国際協力により進展（宇宙基本計画抜粋）

## ③ 小型科学衛星バス技術の刷新

- ・「ひさき（SPRINT-A）」から始めた公募型小型に適用する小型科学衛星バスは適用から10年が経過。SPRINTシリーズのバスは地球観測衛星ASNARO等にも活用されるなど科学衛星以外の衛星開発に貢献。
- ・昨今の物価上昇等による衛星開発コスト上昇の課題にも対応するため、**標準バス適用・衛星設計・検証デジタル化技術等**による衛星開発の刷新に向けた技術検討が急務。

# 技術フロントローディングの成果の有効活用



技術フロントローディングで獲得する技術を、よりスムーズにミッションにつなげていくためには、宇宙実証までをも一貫で行うことが一つの鍵である。宇宙研・JAXAが有する大気球・観測口ケット・軌道上実証（衛星・ISS等）の機会を有効に活用することで、宇宙実証を含んだ研究開発とすることで、よりリスクを低減したのちに宇宙科学ミッションでの確実な成果に繋げられる。

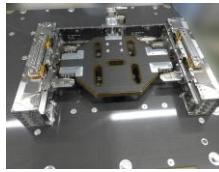
## 地上開発

### 技術の フロントローディング

ミッションの実現に必要となる  
キー技術の事前実証  
<技術FLでの成果の例>



赤外線センサ



能動宇宙望遠鏡



長寿命・低擾乱LN冷凍機



惑星保護



次世代ヒートシールド

## 宇宙技術実証

### 小規模での宇宙実証 による科学ミッション のリスク低減

観測口ケット・大気球、国際宇宙ステーション（ISS）などの飛翔機会を利用するなどした計画を推進。



大気球実験



観測口ケット実験



小規模衛星（技術実証衛星）や  
ISS等での軌道上技術実証

## ミッション

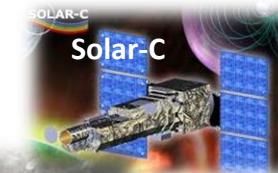
### 戦略的中型計画

### 公募小型計画

### 戦略的海外共同計画

世界第一級成果創出

適正規模のミッションで  
タイムリーに成果創出



Solar-C



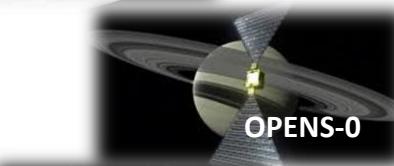
MMO  
Moon Ocean Exploration



XRISM  
X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission



SLIM



OPEN-S0



HAYABUSA-2



LiteBIRD

## 5. まとめ



- 2020年度から開始した技術のフロントローディングについて、キー技術の先行開発により、具体的なミッション立上げにつながる成果を隨時創出できてきてている。（例：赤外センサ（JASMINE）、能動制御望遠鏡（SOLAR-C）、冷凍機（LiteBIRD））
- 2020年からの取組を通じ、後続のミッションや将来計画をスムーズに立ち上げるために技術のFLの一層の強化が必要であることを再確認。
- 一部課題ではミッション立上げに向けて更なるリスク低減のために、大気球・観測ロケット・宇宙実証を視野にいれた活動計画が必要であり、各種実証を見据えたFLの活動をより強化する（技術成熟度を上げる）ことも重要である。
- 当初に立ち上げた技術課題の成果がまとまりつつある中で、次の5年～10年を想定して、科学成果創出に向けた更なる技術課題の検討・策定を引き続き進める。